



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**ÚSTAV STAVEBNÍ EKONOMIKY A ŘÍZENÍ**  
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF STRUCTURAL ECONOMICS AND MANAGEMENT

## **MODELOVÁNÍ A SIMULACE PROJEKTŮ ZLEPŠUJÍCÍCH TEPELNĚ-TECHNICKÉ VLASTNOSTI BUDOV**

MODELLING AND SIMULATION OF PROJECTS IMPROVING THE THERMAL  
PROPERTIES OF BUILDINGS

**DISERTAČNÍ PRÁCE**  
DOCTORAL THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Ing. MILOSLAV VÝSKALA

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

doc. Ing. JANA KORYTÁROVÁ, Ph.D.

BRNO 2014

## **Abstrakt**

Disertační práce je zaměřena na modelování projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti budov. Řešením problému je nalezení alespoň jedné ekonomicky výhodné varianty. Základní metodou vyhodnocení ekonomické výhodnosti je sestavení všech souvisejících finančních toků a jejich vyjádření v čase pomocí diskontování.

Cílem disertační práce je zpracování a modelování jednotlivých investičních variant souvisejících se zlepšováním tepelně-technických vlastností budov a nalezení – v ideálním případě – varianty nákladově optimální.

Hlavním výstupem práce je vytvoření ucelené metodiky (modelové a simulační úlohy) využitelné pro definování všech potenciálních investičních variant projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti objektu.

## **Abstract**

This doctoral thesis deals with the modelling of projects improving the thermal technical characteristics of buildings. The solution of this problem seems to be finding at least one cost-effective option. The basic method of evaluation of cost-effectiveness is represented by the compilation of all corresponding cash flows and their rendering in time through discounting.

The aim of the doctoral thesis is the processing and modeling of individual investment options related with improve the thermal-technical properties of buildings and finding a cost-optimal variants, ideally.

One of the expected outputs is to develop a comprehensive methodology (modeling and simulation task) useful for defining all potential investment projects improving variant thermal-technical properties of the object.

## **Klíčová slova**

Modelování, simulace, tepelně technické vlastnosti, obálka budovy, tepelná izolace, ekonomická efektivnost, tepelně-izolační materiál, životní cyklus budov, ekonomická charakteristika, technická charakteristika, analýza nákladů.

## **Keywords**

Modelling, simulation, thermal-technical properties, building envelope, thermal insulation, economic efficiency, insulation material, life-cycle of building, economic characteristics, cost analysis, economic characteristics,

1	<b>Úvod</b>	4
2	<b>Vymezení cílů disertační práce a předpokládaných výstupů (hypotéza)</b>	4
3	<b>Východiska disertační práce</b>	5
3.1	Východiska legislativní	5
3.1.1	Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov	5
3.1.2	ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov	6
3.2	Východiska odborná	7
4	<b>Vlastnosti stavebních konstrukcí</b>	8
5	<b>Energetická náročnost budov</b>	8
6	<b>Metodický postup řešení problému modelové úlohy</b>	8
6.1	Teoretické vymezení modelu – fáze tvorby modelu	8
6.2	Zadávané vstupní parametry nulové varianty	9
6.3	Postup výpočtu	9
6.3.1	Návrh technologických postupů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti budovy	9
6.3.2	Stanovení nákladů	10
6.3.3	Vyhodnocení nejefektivnější varianty	10
7	<b>Případová studie</b>	11
7.1	Výběr objektu – reprezentanta	11
7.2	Popis objektu, současný stav (nulová varianta)	11
7.3	Tepelně-technické vlastnosti reprezentativního objektu	12
7.3.1	Součinitel prostupu tepla U konstrukcí obálky budovy	12
7.3.2	Prostup tepla obálkou budovy	Chyba! Záložka není definována.
7.3.3	Potřeba tepla na vytápění	12
7.3.4	Celková roční měrná spotřeba energie EPA	12
7.3.5	Stanovení energetické třídy podle vyhlášky č. 78/2013 Sb.	13
7.4	Náklady na vytápění objektu	14
7.5	Ostatní provozní náklady objektu	14
8	<b>Modelování investiční varianty</b>	15
8.1	Návrh a volba technologických postupů podle kapitoly 5 a volba izolantů	15
8.2	Sestavení nákladů investičních variant	15
8.3	Stanovení celkových nákladů akceptovatelných investičních variant	15
8.4	Modelování akceptovatelných investičních variant	17
8.4.1	Sestavení základních akceptovatelných investičních variant	17
8.4.2	Optimalizace akceptovatelných investičních variant	19
8.5	Simulace akceptovatelných investičních variant	20
8.6	Shrnutí výsledků modelované úlohy	21
9	<b>Aplikace dosažených výsledků, diskuse</b>	22
10	<b>Závěry</b>	23
10.1	Dosažení cíle práce, potvrzení / vyvrácení hypotézy	23
11	<b>Použitá literatura (disertační práce)</b>	25
	SEZNAM PUBLIKACÍ	29
	CURRICULUM VITÆ	30

## 1 ÚVOD

Vliv provozu budov na spotřebu energie a na životní prostředí je mimořádný, potřeba energie pro provoz budov je v zemích Evropského společenství vyšší než 40% z celkové spotřeby energií [82].

Investování do zlepšování tepelně-technických vlastností budov není proto pouze nutností z hlediska úspor energií potřebných pro vytápění, ale také nutností celospolečenskou.

Snaha snižovat energetickou náročnost v této oblasti je žádoucí. V současné době téměř nepředvídatelného kolísání ceny energií a obav z vyčerpání některých zdrojů je snižování energetické náročnosti nevyhnutelné, a to jak pro společnost jako celek, tak i pro jednotlivce.

Jedním z požadavků na budoucí výstavbu, a zejména na rekonstrukce výstavby již realizované, je i požadavek na dostatečnou tepelně-technickou ochranu zejména v souvislosti ze Směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2010/31/ES o energetické náročnosti budov ze dne 19. května 2010. Směrnice mimo jiné stanoví společný rámec výpočtových metod energetické náročnosti budov. Definovány jsou také minimální požadavky na energetickou náročnost budov při zachování nákladově optimální úrovně [82] [dále prakticky rozvinuto 12].

V České republice existuje rozsáhlá legislativa upravující požadavky na tepelnou ochranu budov a již tradičně zpracované technické normy, aplikující závazné či doporučené hodnoty tepelně-technických vlastností budov. Po prostudování relevantních vstupních údajů je investor, po konzultaci s projektantem a dodavatelem, schopen přijmout a realizovat zvolená opatření vedoucí ke zlepšení tepelně-technických vlastností objektu.

Investor (vlastník budovy) je uskutečněním opatření vedoucích ke zlepšení tepelně-technických vlastností budovy postaven před zásadní rozhodnutí. Zpravidla porovnává několik variant téhož projektu, se změnami rozsahu úprav, parametrů použitých materiálů a srovnání jednotlivých variant na základě jejich návratností. Rozhoduje se však mnohde pouze podle svých aktuálních finančních možností, s rizikem méně efektivní investice a bez přihlédnutí k následným nákladům životního cyklu objektu.

Při investičním rozhodování musí být investor obeznámen nejen s dlouhodobými přínosy projektu, ale i s jeho náklady a s možnostmi dotačních podpor vztahujících se ke zlepšování tepelně-technických vlastností budov, které mohou investiční rozhodnutí ovlivnit.

Investice do zlepšení tepelně-technických vlastností budov je pro vlastníka z finančního hlediska velice zatěžující. Investiční náklady, pokud se vlastník neomezí na dílčí úpravy, ale naopak zvolí variantu komplexního zateplení obálky objektu, jsou velice vysoké a nezřídka vyžadují pokrytí z cizích zdrojů, což investici dále prodražuje. Návratnost investice je naproti tomu zajištěna energetickými úsporami, které se liší v souvislosti s přijatými opatřeními.

Z těchto důvodů je nutné hledat nejen optimální individuální řešení problému, ale pokusit se problém řešit univerzálnějšími metodami, které si kladou za cíl optimalizovat náklady spojené s realizací projektu a snižovat tak náklady životního cyklu objektu.

## 2 VYMEZENÍ CÍLŮ DISERTAČNÍ PRÁCE A PŘEDPOKLÁDANÝCH VÝSTUPŮ (HYPOTÉZA)

Cílem disertační práce je zpracování, modelování a simulace jednotlivých investičních variant souvisejících se zlepšováním tepelně-technických vlastností budov a nalezení – v ideálním případě – varianty nákladově optimální.

Hlavním výstupem práce je vytvoření ucelené metodiky (modelové a simulační úlohy) využitelné pro definování všech potenciálních investičních variant projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti objektu. Výsledkem modelování bude vyhodnocení investičních variant na základě požadovaných kritérií a případné rozhodnutí se pro takovou z nich, která

při minimalizaci investičních nákladů a nákladů životního cyklu přinese maximální užitek v podobě úspor energie potřebné pro vytápění.

Disertační práce si klade za cíl potvrzení/vyvrácení následující hypotézy:

**Investování do zlepšování tepelně-technických vlastností objektů je z hlediska investičních nákladů a následných nákladů životního cyklu ekonomicky efektivní. Pro objekty individuálního bydlení starší dvaceti let lze nalézt nákladově optimální investiční variantu.**

Z potvrzování/vyvrácení definované hypotézy jsou předem vyloučeny objekty, které splňují současné požadavky tepelné ochrany budov a objekty, které jsou z posuzování vyňaty ve smyslu platných legislativních a technických předpisů uvedených dále v disertační práci. U zmíněných objektů k potvrzení hypotézy nedojde.

Hraničním obdobím pro potvrzení/vyvrácení hypotézy je rok 1992, ve kterém došlo k markantnímu zprůšnění požadavků tepelné ochrany budov. Zlepšování tepelně-technických vlastností konstrukcí obálek budov navíc není relevantní před koncem předpokládané životnosti těchto konstrukcí, jež lze stanovit v délce dvaceti pěti až třiceti let [45].

### **3 VÝCHODISKA DISERTAČNÍ PRÁCE**

#### **3.1 Východiska legislativní**

Určujícím dokumentem Evropské Unie v oblasti tepelné ochrany budov je Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/ES ze dne 19. května 2010.

Cílem směrnice je jednak sblížení tepelně-technických požadavků na budovy v jednotlivých členských zemích EU, sjednocování výpočtových metod v závislosti na klimatických podmínkách, a také podpora dalších možností snižování energetické náročnosti budov.

Zákonnými normami upravujícími tepelnou ochranu budov a nakládání s energiemi jsou v České republice zejména:

- zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu,
- zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií,
- ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov,
- ČSN EN ISO 13790 Výpočet potřeby tepla na vytápění

##### **3.1.1 Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov**

Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov [86] stanovuje nákladově optimální úroveň požadavků na energetickou náročnost budovy pro nové budovy, větší změny dokončených budov, jiné než větší změny dokončených budov a pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie, výpočtovou metodu stanovení energetické náročnosti budov a definuje referenční budovu, obsah průkazu energetické náročnosti budov a způsob jeho zpracování.

Podle vyhlášky jsou energetické požadavky na budovy splněny v případě, pokud je energetická náročnost budovy nižší než energetická náročnost budovy referenční. Což je zajištěno v případě, pokud je energetická náročnost budovy stanovená pomocí měrné spotřeby energie EPA [ $\text{kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ ] a průměrného součinitele prostupu tepla  $U_{em}$  [ $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ] maximálně rovna horní hranici klasifikační třídy „C“.

### 3.1.2 ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov

Problematika tepelné ochrany budov v prostředí České republiky se v současné době opírá o národní technickou normu ČSN 730540 Tepelná ochrana budov [70-73], která stanovuje tepelně technické požadavky pro navrhování budov s požadovaným stavem vnitřního prostředí při jejich užívání, které podle stavebního zákona zajišťují hospodárné splnění základního požadavku na úsporu energie a tepelnou ochranu. ČSN 730540 je závazná pro novostavby a změny budov:

- obytných,
- občanských (školské, administrativní, veřejně správní, zdravotnické),
- jiných (převažující návrhová vnitřní teplota je v intervalu 18 – 22 °C).

Všeobecně tato norma platí pro veškeré novostavby s převažující návrhovou vnitřní teplotou 20° Celsia. Norma naopak neplatí pro budovy převážně velkoplošně otevřené, nafukovací haly, stany, mobilní buňky, skleníky, stájové objekty, chladírny a mrazírny a pro stavby, kde není požadován stav vnitřního prostředí. Neplatí také pro budovy památkově chráněné nebo stávající budovy uvnitř památkových rezervací.

Podle normy ČSN 73 0540 je zásadní navrhovat taková řešení budov, aby byla při zachování investičních nákladů co možná nejvíce snížena celková energetická náročnost budovy a zároveň byly minimalizovány dopady na životní prostředí. Přičemž dodržení tepelně-technických požadavků zajišťuje zejména prevenci tepelně technických vad a poruch budov, tepelnou pohodu uživatelů, požadovaný stav vnitřního prostředí pro užívání a technologické procesy a stavební předpoklady pro nízkou energetickou náročnost budov [70-73].

Postupné zpřísňování požadavků je podle [24] jedním z předpokladů pro zvyšování energetické efektivity v globálním měřítku. Vývoj základního tepelně-technického požadavku  $U$  [ $W/m^2 \cdot K$ ], součinitele prostupu tepla, je uveden v tabulce 1. Z tabulky je patrné radikální přehodnocení součinitele prostupu tepla v roce 1992.

**Tab. 1** Vývoj požadavku součinitele prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2 \cdot K$ ] [41]

Konstrukce		ČSN 73 0540					ČSN 73 0540-2					
	Vydání normy	~Březen 1955	Prosinec 1962	Prosinec 1964	Březen 1977	Duben 1992	Květen 1994	Listopad 2002	Listopad 2005	Duben 2007	Prosinec 2011 (požadované)	Prosinec 2011 (doporučené)
Plochá střecha, střecha do 45°	Lehká		0,545	0,545			0,276	0,240				
	Těžká	1,163	0,900	0,900	0,508	<b>0,316</b>	0,316	0,300	0,240	0,240	<b>0,240</b>	0,160
Vnější stěna	Lehká						0,405	0,300	0,300	0,300		0,200
	Těžká	<b>1,396</b>	<b>1,467</b>	<b>1,467</b>	<b>0,894</b>	<b>0,461</b>	<b>0,461</b>	<b>0,380</b>	<b>0,380</b>	<b>0,380</b>	<b>0,300</b>	<b>0,250</b>
Strop pod nevytáp. půdou	Lehká							0,240				
	Těžká	1,163	0,905	0,905	0,901	<b>0,339</b>	0,308	0,300	0,300	0,300	<b>0,300</b>	0,200
Podlaha přilehlá k zemině		-	1,108	1,108	1,091	<b>0,600</b>	0,462	0,380	0,380	0,380	<b>0,450</b>	0,300
Okna vnější	Běžná								1,700	1,700	<b>1,500</b>	1,200
	Šikmá	4,652	-	-	3,700	<b>2,700</b>	2,900	1,800	1,500	1,500	<b>1,400</b>	1,100
Dveře vnější	bez zadv.					<b>4,300</b>	3,200	1,800	1,700	1,700		
	se zadv.	-	-	-	4,760	<b>5,500</b>	5,500	3,500	3,500	3,500	<b>1,700</b>	1,200

### 3.2 Východiska odborná

Volba opatření zlepšujících tepelně-technické vlastnosti objektu není omezena pouze legislativními a technickými předpisy, které musí bezesbýtku splňovat, ale i následnými technickými omezeními, která vyplývají z volby kombinace vhodných technologických postupů a izolačních materiálů. Správná volba postupů je závislá na jejich dokonalém poznání a odborném posouzení jejich vhodnosti v jednotlivých modelovaných variantách.

Efektivita vybrané varianty (variant) je zaručena přiřazením nákladů přepočtených na měrnou jednotku a zjištěných na základě použité technologie a izolantu.

Celkové náklady členěné podle konstrukcí obálky budovy lze stanovit pomocí směrných cen dostupných cenových soustav a porovnat s výslednou úsporou provozních nákladů, zejména nákladů na vytápění, a v rámci předpokládaného životního cyklu budovy převést na finanční toky podle obecně platných ekonomických pravidel.

Mimo definovaného legislativního prostředí a legislativních požadavků se práce opírá i o přehled dosavadních poznatků ve všech odborných oblastech dotýkajících se řešeného problému.

V současné době je úloha hledání optimální investiční varianty zlepšující tepelně-technické vlastnosti budov do značné míry podceňována. Podrobně lze pomocí autorizovaných výpočtových softwarů stanovit stávající tepelně-technické vlastnosti objektu a vyhodnotit energetickou náročnost. K nejpoužívanějším v České republice patří PROTECH, ENERGIE 2014 a NKN (Národní kalkulační nástroj)<sup>1</sup>. Potenciální investiční varianty však pomocí uvedených softwarů modelovat nelze, taktéž neexistuje věrohodné propojení s očekávanými investičními náklady variant. Prováděné výpočty proto mohou sloužit pouze jako vstupní parametry modelování. Nadmíru zajímavým je poté srovnání vypočítaných hodnot potřeby energie na vytápění a skutečné spotřeby zjištěné měřením, která může být až dvojnásobná [32].

Výzkumné a vědecké práce využitelné pro modelování úloh zlepšující tepelně-technické vlastnosti budov sestávají z dílčích poznatků v obecných oblastech posuzování energetické účinnosti ve smyslu její celospolečenské obhajitelnosti [14]. Podrobně jsou zmapovány kvantitativní metody hodnocení energetické náročnosti stávajících budov, které jsou založeny na předběžném výpočtu, měřeních nebo kombinaci obého [54], ovšem taktéž bez propojení s počátečními investičními náklady a následnými finančními toky.

U novostaveb se uplatňují poznatky v oblasti zlepšení energetické efektivity prostřednictvím konstrukce obvodového pláště budovy, které poukazují na možnost 35-40% energetických úspor u totožných budov při optimalizaci poměrů konstrukcí obálky [36, srovnej 37], či nastavení optimálních tepelně-technických parametrů [34, 49].

Detailnějším pohledem na problematiku může být hledání nákladově efektivní hodnoty součinitele prostupu tepla  $U$ , která je pro stěny a stropní (střešní konstrukce) maximálně rovna 0,28 [W/m<sup>2</sup>·K], pro podlahy 0,37 [W/m<sup>2</sup>·K] [12]. Nižší a tedy tepelně-technicky výhodnější hodnoty součinitele již zcela nekompenzují poměr investičních nákladů a úspor na vytápění.

Optimální hodnoty součinitele prostupu tepla tedy nejsou hodnoty nejnižší (klesající s tloušťkou izolantu), ale hodnoty odpovídající přibližně 120 až 150 mm tloušťky tepelného izolantu při  $\lambda$  součiniteli tepelné vodivosti  $\lambda$  [W/m·K] přibližně 0,037 – 0,032 [12].

S využíváním pokročilých izolačních materiálů se zlepšenými tepelně-izolačními schopnostmi (například vakuové panely) lze přikročit k dříve téměř neřešitelným úpravám obálek budov. S velkým očekáváním lze sledovat vývoj recyklovaných a plně recyklovatelných izolačních materiálů, například využití zbytkového odpadu při výrobě elastomerů [3], či využití

<sup>1</sup> Další dostupné informace jsou dostupné na domovských stránkách jednotlivých software: <http://www.protech.cz/>; <http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/energie/>; <http://nkn.fsv.cvut.cz/>

kartonových obalů a podobně. Obecným problémem stavěným nad potenciální úspory energie pro vytápění je množství energie potřebné pro výrobu izolačních materiálů (tzv. primární energie), které může být nezdědká zatěžujícím faktorem při celkovém energetickém hodnocení budovy [8 srovnej 27].

Problematika životnosti jednotlivých konstrukčních prvků, funkčních dílů, a nákladů spojených s životním cyklem budov je dlouhodobě řešena Ústavem stavební ekonomiky a řízení Fakulty stavební VUT a v práci je také zohledněna [17, 19].

#### **4 VLASTNOSTI STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ**

Potřeba energie a energetická náročnost budov je přímo ovlivněna zejména velikostí a způsobem užívání budovy a také jejich technickými vlastnostmi. Konstrukce podléhající požadavkům na tepelně-technické vlastnosti objektů jsou soustřeďovány kolem obálky budovy na rozhraní mezi vytápěnými a nevytápěnými prostory. Obálkou budovy se rozumí všechny konstrukce na systémové hranici celé budovy, které jsou vystaveny venkovnímu prostředí. Konstrukce obálky budov lze rozdělit na:

- střešy (šikmé, ploché),
- stropní konstrukce oddělující vytápěné a nevytápěné prostory,
- obvodové stěny (lehké a těžké, přiléhající částečně nebo celkově k vytápěnému prostoru, nepřiléhající k vytápěnému prostoru),
- podlahy (přilehlé k zemině),
- okenní, dveřní a jiné výplně otvorů (výplně otvorů střešní, výplně otvorů ve stěnách).

#### **5 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOV**

Energetickou náročností budov (ENB) se rozumí vypočtené nebo změřené množství energie nutné pro pokrytí potřeby energie spojené s typickým užíváním budovy, což zahrnuje energii používanou na vytápění, chlazení, přípravu teplé vody, mechanické větrání, úpravu relativní vlhkosti vnitřního vzduchu, osvětlení a další pomocné energie [86].

Výpočet ENB se provádí na základě evropské směrnice 2010/31/ES ze dne 19. května 2010 o energetické náročnosti budov, respektive národní prováděcí vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií.

#### **6 METODICKÝ POSTUP ŘEŠENÍ PROBLÉMU MODELOVÉ ÚLOHY**

##### **6.1 Teoretické vymezení modelu – fáze tvorby modelu**

Tvorba modelu modelové úlohy projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti budov vychází z technických, tepelně-technických a fyzikálních vlastností budov a stavebních konstrukcí. Legislativní a technické normy je nutné zohlednit do té míry, aby výsledná modelová řešení úloh s těmito předpisy zcela korespondovala. Ekonomické hledisko a efektivita modelových variant vychází z porovnání nákladů jednotlivých investičních variant a úspor v nákladech na provoz budovy v horizontu předpokládaného životního cyklu budovy.

Model je jednoznačně vymezen:

- legislativními aspekty problematiky, v souladu s,
- tepelně-technickými národními normami a výpočtovými metodami,
- technologickými aspekty, použitelností vybrané technologie,
- normovanými stavebními konstrukcemi a pracemi se směrnými náklady,
- ekonomickým zohledněním finančních toků,



- předpokládanou délkou provozní fáze životního cyklu budovy.

Modelované varianty musí odpovídat všem uvedeným omezujícím skutečnostem. Vybranou investiční variantou je poté varianta za daných podmínek ekonomicky nejefektivnější (nákladově optimální).

## 6.2 Zadávané vstupní parametry nulové varianty

První zadávané vstupní parametry modelu vychází z nulové investiční varianty, ze stávajícího stavu dále modelovaného objektu.

Vkládanými hodnotami jsou technické parametry objektu: plošné rozměry konstrukcí rozdělené podle obálky budovy. Způsob měření odpovídá obálkové metodě výpočtu. Obecně se vždy jedná o vnější půdorysné rozměry u podlah, stropů i obvodových stěn. Objem budovy se stanovuje z celkových vnitřních rozměrů bez odečtu vnitřních nosných stěn či příček. Rozměry výplní okenních a dveřních rozměrů se rozumí kótované rozměry otvorů podle projektové dokumentace.

Základní vkládanou tepelně-technickou veličinou je součinitel prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2 \cdot K$ ].

## 6.3 Postup výpočtu

Výpočet pro nulovou variantu probíhá v několika na sebe navazujících sekvencích na základě souhrnu konstrukcí obálky budovy a jejich tepelně-technických vlastností. Dílčí vypočtenou hodnotou je – na základě obecné závislosti ploch konstrukcí obálky budovy  $A$  [ $m^2$ ] a součinitele prostupu tepla  $U$  [ $W/m^2 \cdot K$ ] – určen přímý prostup tepla konstrukcemi  $H_D$  [ $W/K$ ]. A nepřímý prostup tepla (přes nevytápěné prostory a zeminu). Výsledkem je měrný tepelný tok prostupem tepla  $H_T$ , který v součtu se ztrátou výměnou vzduchu  $H_v$  představuje celkovou měrnou tepelnou ztrátu budovy  $H$  [ $W/K$ ].

V dalších krocích jsou stanoveny:

- celkový tepelný tok prostupem pro každý měsíc roku  $Q_T$  [ $MJ$ ],
- celkový záporný tepelný tok (tepelná ztráta)  $Q_L$  [ $MJ$ ],
- vnitřní tepelné zisky a upravené solární zisky,
- roční potřeba tepla na vytápění  $Q_{dem, H}$  [ $W/K$ ].

Výslednou hodnotou první sekvence je – po zohlednění účinností topné soustavy - měrná potřeba tepla na vytápění EPA [ $kWh/m^2 \cdot a$ ], na jejímž základě lze budovu zařadit (po srovnání s referenční budovou) do některé z energetických tříd v souladu s vyhláškou č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov.

Ukončením této fáze je zcela definována nulová varianta úlohy modelování.

### 6.3.1 Návrh technologických postupů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti budovy

Na základě konkrétních technických možností a posouzení stavu budovy (reprezentanta) je třeba zvolit technologické postupy zlepšující tepelně-technické vlastnosti konstrukcí obálky budovy. Pro modelované varianty je opět rozhodující pokrytí pokud možno celé obálky budovy, návrh technologií je obecně nutné provést pro:

- podlahovou konstrukci,
- obvodové stěny,
- stropní konstrukce,
- střešní konstrukce,
- výplně okenních a dveřních otvorů.

S ohledem na technologické postupy lze zvolit nejvhodnější tepelně-izolační materiály – izolanty.

### 6.3.2 Stanovení nákladů

Náklady na zlepšování tepelně-technických vlastností konstrukcí obálky budovy se stanoví jako součet nákladů na technologii (zabudování izolantu), nákladů na izolant a ostatních nákladů.

Pro modelování investičních variant je nutné zejména sestavit soupis ostatních nákladů, to je nákladů, které přímo souvisejí s celkovou úpravou části obálky budovy. Pro jednotlivé technologické postupy jsou sestaveny tabulky s nejčastějšími náklady členěnými podle třídníku TSKP. Vzhledem k široké škále specifikovaných materiálů je vhodné tyto zadávat ručně. Pro všechny části je umožněno vkládání jiných, databází nepodchycených konstrukcí a prací, či vložení ceny úpravy jako celku, pokud je na základě cenové nabídky známa.

Modelovaná tloušťka izolantu se odvíjí od minimální tloušťky stanovené výpočtem a do modelu se přímo nezařazuje. Náklady na izolant se jako vstupní modelovaný parametr stanoví automaticky pro všechny tloušťky splňující technické a technologické požadavky.

Náklady jsou v první fázi modelování vyčísleny ve směrných cenách na základě databáze cen dle společnosti ÚRS Praha a. s. v aktuální cenové úrovni (2. Pololetí 2014). Následně jsou náklady, zejména vyčleněných materiálů, vyčísleny v cenách tržních, čímž, dle předpokladu dojde ke snížení nákladů.

### 6.3.3 Vyhodnocení neefektivnější varianty

Hodnocení budovy před zahájením úprav tepelně-technických vlastností (nulové varianty) je nutné porovnat s modelovanými vlastnostmi budovy po zvolených úpravách vyhodnocených po stránce:

- ekonomické (náklady spojené s životním cyklem objektu),
- ekologické (menší potřeba tepla pro vytápění),
- socio-ekonomické (zvýšený komfort bydlení, finanční úspora),
- celospolečenské (snížení produkce škodlivých látek).

Hlavními ekonomickými ukazateli hodnotícími efektivitu investice jsou doba návratnosti investice a náklady spojené s životním cyklem objektu a vnitřní výnosové procento (IRR). Obecně je preferována investice s nejkratší dobou návratnosti. V tomto specifickém případě však nemusí být nejlépe hodnocená investiční alternativa z hlediska doby návratnosti také alternativou neefektivnější, jelikož je třeba investiční varianty dále podmínit splněním technických a legislativních požadavků.

Porovnávají budou úpravami tepelně-technických vlastností snížené provozní náklady spojené s následnými náklady životního cyklu objektu, omezené dobou předpokládané životnosti do konce provozní fáze.

Rozhodujícími jsou i další parametry: ekologické dopady projektu, výsledné zlepšení tepelně-technických vlastností budovy.

Hodnoceny mohou být také socio-ekonomické ukazatele a ukazatele celospolečenské, vzhledem k rozsahu projektu. Výsledná změna tepelně-technických vlastností budovy se jednoznačně projeví úsporou finančních prostředků potřebných na vytápění, ale také úsporou dodávané a vyráběné energie a tím i nižší produkcí škodlivých látek vznikajících při výrobě energie.

Výsledkem je vyhodnocení neefektivnější varianty z pohledu modelovaných vlastností a omezujících kritérií.

Hodnocení variant lze dále rozvinout při uvažování různých druhů financování, při použití vlastních zdrojů, případně zdrojů cizích. Zajímavým aspektem modelování mohou být také případné dosažitelné dotační tituly.

## 7 PŘÍPADOVÁ STUDIE

### 7.1 Výběr objektu – reprezentanta

Reprezentant byl vybrán na základě kritérií uvedených výše. Z hlediska společenské poptávky se jedná o velice vhodný objekt: rodinný dům z poloviny 20. století vystavěný s využitím klasických technologických postupů s drobnými místními specifiky.

### 7.2 Popis objektu, současný stav (nulová varianta)

Jedná se o samostatně stojící, dvoupodlažní, nepodsklepený rodinný dům obdélníkového tvaru s valbovou střechou. Z jihozápadní strany na rodinný dům přímo navazují hospodářská stavení. Vstup do objektu je možný přes nevytápěnou verandu.

Stáří objektu je odhadnuto na 80 let. Základové konstrukce jsou z lomového kamene skládaného na sucho. Hloubka založení kolísá mezi 700 – 900 mm pod upravený terén. Úroveň základové spáry se částečně nachází pod hladinou podzemní vody (hladina podzemní vody kolísá v závislosti na průtoku nedaleké řeky Třebůvky) Vodorovnou hydroizolační vrstvu tvoří živičné pásy ve skladbě podlah 1. NP. Vodorovná a svislá hydroizolace obvodového zdiva a zdiva vnitřního se na objektu nevyskytuje.

Nosné konstrukce jsou z cihel plných pálených zděných na maltu vápennou. Šířka obvodového zdiva se v 1. NP pohybuje v rozmezí od 575 do 705 mm, ve 2. NP v rozmezí od 520 do 530 mm. Vnitřní nosné zdivo je taktéž z cihel plných pálených zděných na maltu vápennou. Světlá výška 1. NP je 2700 mm, světlá výška 2. NP je 2450 mm.

Stropní konstrukce nad 1. NP i 2. NP tvoří jednoduché dřevěné polospalné trémové stropy se záklopem a podbitím z prken. Stropní konstrukce nad 2. NP je navíc opatřena hliněnou mazaninou v tloušťce 30 – 50 mm. Zhlaví stropních trámů je vetknuto do obvodového zdiva a obezděno. Železobetonové zpevňující věnce se na objektu nevyskytují.

Podlaha 1. NP je tvořena betonovou mazaninou neznámé tloušťky. Vnitřní omítky jsou vápenné, omítky vnější jsou cementové („falešný březolit“).

Konstrukce krovu je dřevěná hambálková bez použití kleštin. Střešní krytinu tvoří eternitové šablony přibíjené na celoplošné deskové bednění.

Výplně otvorů okenních tvoří dvojité okenní křídla zasazená do kastlových rámců (jeden z okenních otvorů je osazen dvojitým špaletovým oknem). Dveře jsou dřevěné, osazené do tesařské zárubně opatřené obložkami.

Vytápění v zimním období je zajišťováno lokálními zdroji na tuhá paliva. Minimální doba dalšího využívání objektu je plánována na cca 30 let. Vstupní parametry vstupující do tepelně-technických výpočtů jsou uvedeny v tabulce 2.

**Tab. 2** Vstupní parametry tepelně-technických výpočtů odečtené z projektové dokumentace [autor]

Ukazatel (popis)	Označení (vztah)	Jednotka	Vypočítaná hodnota
<b>Reprezentant</b>			
Celková plocha obálky budovy	A	[m <sup>2</sup> ]	364,50
Celková vnitřní podlahová plocha	Agross	[m <sup>2</sup> ]	109,42
Vnitřní objem	Vi	[m <sup>3</sup> ]	
Obestavěný objem vytápěného prostoru	Vc	[m <sup>3</sup> ]	435,80
Účinná tepelná kapacita vnitřního prostoru	C	[Wh/K]	21 790,00

### 7.3 Tepelně-technické vlastnosti reprezentativního objektu

#### 7.3.1 Součinitel prostupu tepla U konstrukcí obálky budovy

Součinitele prostupu tepla  $U$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] jsou u reprezentanta určeny podle příslušnosti vyskytujících se konstrukcí k obálce budovy.

Stávající hodnoty součinitelů prostupu tepla obálky budovy lze porovnat s hodnotami požadovanými a doporučenými podle normy ČSN 73 0540, dále s hodnotami doporučenými pro nízkoenergetické a pasivní objekty.

Z provedených výpočtů (podle shrnutí v tabulce 3) je patrné, že požadavek součinitele prostupu tepla není splněn pro žádnou z konstrukcí obálky budovy reprezentanta. Což znamená, že zlepšení tepelně-technických vlastností bude navrženo pro každou z nich na hodnotu menší nebo rovnou požadavku normy.

**Tab. 3** Srovnání hodnot součinitele prostupu tepla  $U$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ] [autor]

Označení kce	Podlaha na terénu	Stěna		Okna a dveře		Střecha do 45°
	Součinitel prostupu tepla U [W/m²K]					
Pasivní standart	0,15	0,150 - 0,100		< 0,800		0,15 0 - 0,100
Nízkoenergetický	0,20	0,2		< 1,100		0,15
ČSN 73 0540		lehká	těžká	svislá	střešní	
Doporučení	0,30	0,20	0,25	1,20	1,10	0,16
Požadavek	0,38	0,30	0,38	1,70	1,50	0,30
Reprezentant	Podlaha na terénu	Stěna		Okna a dveře		Strop nad 2. NP
Označení skladby	PDL1	S01 (SO2)		OZ (DB)		STR1
	0,635	1,110 (1,296)		2,40		1,438
Požadavek	Nesplněn	Nesplněn		Nesplněn		Nesplněn

#### 7.3.2 Potřeba tepla na vytápění

Roční měrná potřeba tepla na vytápění vztahená na podlahovou plochu budovy je poměrem součtu měsíčních potřeb tepla na vytápění  $Q_{\text{dem}}$  [ $\text{kWh}$ ] a celkové podlahové plochy objektu  $A_{\text{gross}}$  (tabulka 4).

**Tab. 4** Měrná potřeba tepla na vytápění reprezentanta [autor]

Ukazatel (popis)	Označení (vztah)	Jednotka	Vypočítaná hodnota
<b>Reprezentant</b>			
Celková vnitřní podlahová plocha	$A_{\text{gross}}$	[ $\text{m}^2$ ]	109,42
Celková roční potřeba tepla na vytápění	$Q_{\text{dem}}$	[ $\text{kWh}$ ]	36 061,60
Měrná potřeba tepla na vytápění	$E_A$	[ $\text{kWh}/\text{m}^2\text{rok}$ ]	329,57
<b>Požadavek</b>			<b>bez požadavku</b>

#### 7.3.3 Celková roční měrná spotřeba energie EPA

Stanovení celkové roční měrné spotřeby energie vychází z požadavků uvedených vyhláškou č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov a slouží k začlenění posuzované budovy do jedné z energetických tříd.

Stanoví jako součet ročních dodaných energií potřebných k provozu budovy (energie na vytápění, chlazení, osvětlení, ohřev užitkové vody a podobně). Roční dodanou energií se rozumí energie skutečně dodaná a pokrývající nejen měrnou potřebu tepla, ale také ztráty energie způsobené přenosem a účinností zdroje.

Pro výpočet celkové měrné spotřeby energie pro reprezentativní objekt byly použity výše uvedené skutečnosti (měrná potřeba tepla na vytápění) a údaje dlouhodobě měřené v rámci užívání objektu (spotřeba elektrické energie pro ohřev TUV a osvětlení), která byla stanovena na 1825,00 [kWh/rok] jako průměrná denní spotřeba cca 5 kWh.

Pro výpočet skutečně dodané energie na vytápění byla uvažována účinnost zdroje přeměny energie 85% ( $\eta_{\text{gen}} = 0,85$  [-]), další parametry výpočet neovlivní (zdroj je umístěn ve vytápěné části objektu, vzduchotechnická jednotka není uvažována).

Chlazení, mechanické větrání, či fotovoltaické panely se na objektu nevyskytují a jejich vliv na celkovou potřebu energie je proto nulový. Celková roční měrná spotřeba energie EPA [kWh/m<sup>2</sup>·a] se stanoví přepočtením celkové roční dodané energie EP

Shrnutí celkové roční měrné spotřeby energie pro reprezentativní objekt je shrnuto v tabulce 5.

**Tab. 5** Celková roční měrná spotřeba energie EPA [kWh/m<sup>2</sup>rok] reprezenta [autor]

Ukazatel (popis)	Označení (vztah)	Jednotka	Vypočítaná hodnota
<b>Reprezentant</b>			
Roční dodaná energie na vytápění	EP <sub>H</sub>	[kWh/rok]	41 470,80
Roční dodaná energie na chlazení	EP <sub>C</sub>	[kWh/rok]	0,00
Roční dodaná energie na mech. větrání	EP <sub>F</sub>	[kWh/rok]	0,00
Roční dodaná energie na přípravu TUV	EP <sub>W</sub>	[kWh/rok]	1 825,00
Roční dodaná energie na osvětlení	EP <sub>L</sub>	[kWh/rok]	
Roční produkce energie fotovolt. články	EP <sub>PW</sub>	[kWh/rok]	0,00
<b>Celková roční dodaná energie</b>	<b>EP (ΣEP<sub>x</sub>)</b>	<b>[kWh/rok]</b>	<b>43 295,80</b>
<b>Reprezentant</b>			
<b>Celková roční měrná spotřeba energie</b>	<b>EPA (EP/A<sub>gross</sub>)</b>	<b>[kWh/m<sup>2</sup>rok]</b>	<b>379,00</b>

#### 7.3.4 Stanovení energetické třídy podle vyhlášky č. 78/2013 Sb.

##### Definování referenční budovy

Referenční budovou se dle vyhlášky č. 78/2013 Sb. rozumí výpočtově definovaná budova téhož druhu, stejného geometrického tvaru a velikosti včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejích konstrukcí a technických systémů budovy.

Stanovit roční spotřeby energie referenční budovy lze pomocí výpočtu shodného s výpočtem nulové varianty. Pro výpočet je však třeba upravit parametry a hodnoty referenční budovy podle přílohy č. 1 vyhlášky č. 78/2013 Sb. Měněným parametrem je zejména nastavení součinitele prostupu tepla U [W/m<sup>2</sup>K] dílčích částí obálky budovy na hodnoty odpovídající podle ČSN 73 0540 hodnotám doporučeným.

Energetická náročnost objektu je stanovena na základě celkové roční spotřeby energie EPA [kWh/m<sup>2</sup>rok] a odpovídá jedné z energetických tříd stanovené vyhláškou č. 78/2013 Sb.,

o energetické náročnosti budov. Podmínky vyhlášky jsou splněny, pokud energetická náročnost budovy ve srovnání s referenční budovou odpovídá nejvýše hornímu intervalu energetické třídy „C“.

**Tab. 6** Stanovení energetické třídy reprezenta podle vyhlášky č. 78/2013 Sb. [autor]

Ukazatel (popis)		Označení (vztah)	Jednotka	Vypočítaná hodnota		
Reprezentant						
Celková roční měrná spotřeba energie		EPA	[kWh/m <sup>2</sup> ·a]	379,00		
Referenční budova						
Celková roční měrná spotřeba energie		EPA <sub>R</sub>	[kWh/m <sup>2</sup> ·a]	92,22		
Požadavek dle přílohy č. 2 vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov						
Označení tříd energetické náročnosti budov v kWh/m <sup>2</sup> a						
A	B	C	D	E	F	G
0,5 x EPA <sub>R</sub>	0,75 x EPA <sub>R</sub>	EPA <sub>R</sub>	1,5 x EPA <sub>R</sub>	2 x EPA <sub>R</sub>	2,5 x EPA <sub>R</sub>	>2,5 x EPA <sub>R</sub>
46,11	69,165	92,22	138,33	184,44	230,55	>230,55
Požadavek					Nesplněn	

Reprezentativní objekt stanovené podmínce nevyhoví (srovnání v tabulce 6), jelikož celková roční spotřeba energie je vyšší, než vyhláškou povolená. **Objekt je dle vyhlášky zařazen do energetické třídy „G“.** V případě zlepšování tepelně-technických vlastností objektu je nutné snížit roční spotřebu energie EPA [kWh/m<sup>2</sup>·a] na maximálně 92,22 kWh/m<sup>2</sup>·a.

Modelované investiční varianty přesahující tuto hodnotu musí být zamítnuty.

#### 7.4 Náklady na vytápění objektu

Náklady na vytápění objektu vztahované k celkové potřebě energie na vytápění lze stanovit podle druhu užívaného paliva a jeho výhřevnosti. Reprezentativní objekt je vytápěn lokálně, kamny na dřevní hmotu. Pro výpočet je uvažován nákup paliva v blízkosti objektu dle aktuálního ceníku dodavatele<sup>2</sup> včetně nákladů na dopravu paliva (jedná se o dřevo štípané).

**Tab. 7** Stanovení nákladů na vytápění reprezentanta (dřevní hmota) [autor]

Ukazatel (popis)		Označení (vztah)	Jednotka	Vypočítaná hodnota
<b>Reprezentant</b>				
Roční dodaná energie na vytápění		EP <sub>H</sub>	[kWh/rok]	41 470,79
Výhřevnost dřevní hmoty (buk)		-	[kWh/kg]	3,47
Potřeba dřevní hmoty na pokrytí EP <sub>H</sub>		EP <sub>H</sub> /výhřevnost	[kg/rok]	11 951,24
Pořizovací náklady na dřevní hmotu		PC	[CZK/kg]	2,05
<b>Náklady na vytápění</b>		potřeba x PC	[CZK/rok]	<b>24 500,03</b>

#### 7.5 Ostatní provozní náklady objektu

Pro výpočet nejsou uvažovány, předpokládá se, že se v rámci modelování investičních variant od varianty nulové neodchylují. Provozní náklady jsou vypočítány jako součet nákladů na vytápění a nákladů vzešlých ze spotřeby elektrické energie. Reprezentant nevyužívá energie k mechanickému větrání a chlazení.

<sup>2</sup> Například aktuální cení společnosti Ložtická lesní, s. r. o. ([www.drevonatopenilevne.cz](http://www.drevonatopenilevne.cz)) nebo DŘEVOPAR, s. r. o. ([www.drevopar.cz](http://www.drevopar.cz)).

## 8 MODELOVÁNÍ INVESTIČNÍ VARIANTY

### 8.1 Návrh a volba technologických postupů a volba izolantů

Návrh a volba technologických postupů je pro jednotlivé části obálky budovy rekapitulována v tabulce 8. Z tabulky je také patrný výběr izolantů.

**Tab. 8** Technologické postupy při zlepšování tepelně-technických vlastností obálek budov [autor]

Část konstrukce obálky budovy	Rozlišení	Tepelná izolace dle technologie	Materiál tepelné izolace	Příklad specifikace tepelné izolace
Stropy		Vložená volně Foukaná SDK podhled	Polystyrén Celuloza Minerální vata	EPS 70S
		Kombinace jednotlivých řešení		
Stěny		KZS	Polystyrén	EPS 70F
				EPS 100F Desky na bázi PS XPS
			Minerální vata	Vlákna kolmo Vlákna vodorovně
Podlahy			Polystyrén	EPS 100S
			Minerální vata Podkladní vrstva	Pěnové sklo
Výplně otvorů	Okna		Dřevěná Plastová Hliníková Renovace	
	Dveře		Dřevěná Plastová Hliníková Renovace	

### 8.2 Sestavení nákladů investičních variant

Náklady investičních variant jsou stanoveny pro každou z částí obálky budovy. Náklady jsou stanoveny pomocí (pokud není uvedeno jinak) cenové soustavy společnosti URS Praha a. s., při využití SW KROS plus, cenová úroveň II/2014. Náklady jsou stanoveny pouze pro vybrané technologické postupy a izolant.

### 8.3 Stanovení celkových nákladů akceptovatelných investičních variant

Akceptovatelným řešením je takové řešení, které odpovídá všem výše zmíněným požadavkům a jejich kombinaci. Výběr optimální investiční varianty je plně závislý na posouzení souboru požadavků s maximálním důrazem na ekonomickou efektivitu.

Vzhledem k povaze, technickému stavu a zejména stáří reprezentanta je zřejmé, že přijatá řešení jsou komplexní a zasahují celou obálku budovy s výjimkou podlahy přilehlé k terénu. Prvním krokem k hodnocení akceptovatelných investičních variant je stanovení celkových nákladů pro každou z přijatelných investičních variant. Celkové investiční náklady

jsou poté (na základě dosažených tepelně-technických vlastností objektu) kompenzovány úsporami nákladů na vytápění.

Pro reprezentanta se stanoví celkové investiční náklady jednotlivých variant jako součet nákladů na úpravu dílčí části obálky budovy:

- náklady na úpravu vnějších stěn (obvodové zdivo),
- náklady na úpravu stropní konstrukce nad 2. NP,
- náklady na výměnu výplní okenních a dveřních otvorů.

K nákladům na úpravu dílčích částí obálky budovy je třeba připočítat i vedlejší rozpočtové náklady (VRN), kterými jsou zařízení staveniště, popřípadě provozní či územní vlivy a kompletační činnost. Dále náklady na projektovou dokumentaci, obstarání stavebního povolení a podobně a příslušnou sazbu DPH.

Výběr akceptovatelných řešení je rekapitulován v tabulce 9. Z tabulky jsou patrná všechna akceptovatelná, dílčí řešení, pro každou z konstrukcí obálky budovy. Každé uvedené řešení odpovídá technickým, tepelně-technickým a technologickým požadavkům. Hledání optimální varianty poté probíhá pomocí dalšího, ekonomického, požadavku. Náklady uvedené v tabulce jsou stanoveny jako součet nákladů na izolant, technologii a ostatní náklady (tabulky 63, 64, 65 ve směrných cenách dle databáze ÚRS Praha a. s., v cenové úrovni pro 2. pololetí roku 2014).

Vedlejší rozpočtové náklady jsou pro jednotlivé varianty stanoveny odborným odhadem a činí 1,5% z hlavních rozpočtových nákladů. Uvažovány jsou zejména náklady na zařízení staveniště a další případné drobné vedlejší náklady. Náklady na kompletní projektovou dokumentaci jsou pro každou z variant předpokládány ve výši 30 000,00,- CZK (náklady jsou stanoveny odborným odhadem v kombinaci s využitím sazebníku projektových prací).

**Tab. 9** Celkové náklady akceptovatelných investičních variant [autor]

Celkové náklady akceptovatelných investičních variant						
Konstrukce obálky budovy	Materiál izolantu	Tloušťka izolantu	Plocha obálky	Náklady na m. j.	Náklady ostatní	Náklady celkové
	[W/m.K]	mm	m <sup>2</sup>	CZK/m <sup>2</sup>	CZK/plocha	CZK
Vnější stěna (SO1-3)	EPS 70F $\lambda = 0,037$ [W/m.K]	120	182,01	1 075,30	12 503,70	208 220,00
		140		1 178,30		226 955,00
		150		1 200,30		230 959,00
		160		1 222,30		234 962,00
		180		1 283,30		246 064,00
		200		1 326,30		253 890,00
	GreyWall $\lambda = 0,032$ [W/m.K]	100	182,01	1 073,30	12 503,70	207 845,00
		120		1 124,30		217 126,00
		140		1 233,30		236 964,00
		150		-		-
		160		1 284,30		246 246,00
		180		1 343,30		256 984,00
		200		1 394,30		266 266,00
Strop nad 2. NP (STR1)	ISOVER ORSIK $\lambda = 0,038$ [W/m.K]	200	74,40	375,00	-	27 900,00
		210		417,10		29 931,00
		220		432,70		32 193,00
		230		446,10		33 190,00



	240	463,70	34 500,00
	250	475,10	35 348,00
	260	490,60	36 500,00
	280	525,70	39 112,00
	300	552,70	41 121,00
Výplně otvorů (OZ, DB)	Systém SULKO Classic, deklarovaný $U_w=1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ (dvojsklo)		116 180,00 <sup>3</sup>
	Systém SULKO Optimo+, deklarovaný $U_w=0,89 \text{ W/m}^2\text{K}$ (trojsklo)		134 770,00 <sup>4</sup>

Akceptovatelnými modelovými variantami jsou kombinace všech výše uvedených opatření lišících se zejména tloušťkou izolantu nebo tepelně-technickými vlastnostmi izolantu nebo použitého výrobku.

## 8.4 Modelování akceptovatelných investičních variant

### 8.4.1 Sestavení základních akceptovatelných investičních variant

Výsledkem technicko-ekonomického hodnocení akceptovatelných investičních variant je stanovení vnitřního výnosového procenta (IRR [%]) na základě diskontovaných finančních toků. Přičemž lze obecně říci, že mohou být přijaty takové investiční varianty, jejichž vnitřní výnosové procento je minimálně rovno stanovenému požadavku. Optimální variantou je poté taková, jejíž vnitřní výnosové procento je nejvyšší [18].

Požadovaný výnos investice byl stanoven na 1 %, což v současnosti odpovídá výnosům z dlouhodobých bezrizikových vkladů (spořicí programy komerčních bank). Požadovaný výnos je stanoven s ohledem na investiční možnosti investorů, v tomto případě majitelů obytných budov pro individuální bydlení. Požadovaný výnos je stanoven s ohledem na rizikovost investice, dobu trvání investice a její očekávaný výnos. Ve výpočtech není zohledněn vliv inflace.

Pro základní modelování jsou pro každou z variant sestaveny celkové investiční náklady sestávající ze součtu nákladů uvedených v kapitole 11.5; uvedena je dále celková roční dodaná energie na vytápění  $EP_H$  [kWh/rok], roční náklady spojené s vytápěním objektu a roční úspora těchto nákladů oproti nulové variantě. Modelování základních investičních variant předpokládá pokrytí investičních nákladů vlastními zdroji investora.

Finanční toky jsou poté sestaveny jako celkové investiční náklady (záporný finanční tok, nultý rok) a úspory nákladů na vytápění (kladný finanční tok, první až poslední rok sledovaného období). Finanční toky jsou diskontovány obvyklým způsobem. Výsledkem výpočtu je stanovení čisté současné hodnoty (NPV [CZK]) a vnitřního výnosového procenta každé z variant.

### Vyhodnocení základních akceptovatelných variant

V první fázi je modelováno celkem 216 potenciálních investičních variant na základě splnění kombinace parametrů.

Vnitřní výnosové procento základních variant nabývá hodnot v rozmezí 2,16 až 1,03 %, přičemž:

<sup>3</sup> Uvedené náklady vychází z cenové nabídky, která je přílohou číslo 3 disertační práce.

<sup>4</sup> Uvedené náklady vychází z cenové nabídky, která je přílohou číslo 3 disertační práce.

- klesá rovnoměrně s rostoucí tloušťkou izolantů (stěn a stropní konstrukce), což je způsobeno zvyšujícími se náklady spojenými s technologií, které nejsou zcela kompenzovány úsporou nákladů na vytápění,
- varianty s použitím výplní okenních a dveřních otvorů s izolačními trojskly (SULKO Optimo+, deklarovaný  $U_w=0,89 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) vykazují snížení IRR o 0,27 % oproti výplním okenních a dveřních otvorů s izolačními dvojskly (SULKO Classic, deklarovaný  $U_w=1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) u všech porovnatelných variant, což je způsobeno nepoměrem nákladů a tepelně-technického parametru  $U$ ,
- varianty KZS s využitím polystyrenu EPS 70 F a polystyrenu Greywall vykazují obdobné hodnoty IRR pro varianty při použití tloušťky izolantu 100 mm (EPS 70 F) a 120 mm (Greywall).

Čistá současná hodnota variant s požadovanou mírou zhodnocení investice minimálně 1 % nabývá hodnot 67 778, 03 CZK až 2 170, 52 CZK, přičemž:

- klesá rovnoměrně s rostoucí tloušťkou izolantů (stěn a stropní konstrukce), což je způsobeno zvyšujícími se náklady spojenými s technologií, které nejsou zcela kompenzovány úsporou nákladů na vytápění,
- varianty KZS s využitím polystyrenu EPS 70 F a polystyrenu Greywall vykazují obdobné hodnoty IRR pro varianty při použití tloušťky izolantu 100 mm (EPS 70 F) a 120 mm (Greywall).

Celkové investiční náklady se pohybují v závislosti na kombinaci parametrů v rozmezí 445 284,46 CZK – 550 607,76 CZK a vychází ze směrných cen dle databáze společnosti ÚRS Praha, a. s. v cenové úrovni pro 2. pololetí roku 2014, přičemž:

- rovnoměrně rostou se zvyšujícími se tloušťkami izolantů.

Dosažitelné úspory na vytápění lze očekávat ve výši 19 826,95 CZK – 21 419, 12 CZK/rok, což oproti nulové variantě představuje úspory 81,21 až 87,43 %. Úspory na vytápění rostou s rostoucí tloušťkou izolantů, avšak nejsou schopny zcela kompenzovat obdobně rostoucí náklady investiční. Diskontovaná doba návratnosti investičních variant při diskontní sazbě 1% se pohybuje v rozmezí 26 – 30 roku.

Dle nastaveného požadavku pro vnitřní výnosové procento lze pro každou ze základních variant rámcově potvrdit hypotézu disertační práce, avšak stále nebyla nalezena varianta nejefektivnější, nákladově optimální. Základní modelované varianty lze dále optimalizovat v následujících ohledech:

- stanovení skutečných nákladů (na základě kalkulace tržních cen),
- dotační tituly (zohlednění případných možností dotací),
- způsob financování (fin. proveditelnost, financování vlastními a/nebo cizími zdroji),
- způsob vytápění objektu (vliv používaného paliva),
- užívání objektu v rámci životního cyklu a předpokládané další využití objektu,
- způsob dodávek stavebních prací (dodavatelský způsob x svépomocná výstavba).

Při optimalizování se lze omezit pouze na několik základních modelových variant vykazujících nejvyšších hodnot IRR a pokrývajících všechny použitelné izolanty a konstrukce. Shrnutí parametrů dále optimalizovaných variant je uvedeno v tabulce 10.

**Tab. 10** Technicko-ekonomické hodnocení investičních variant - výběr variant pro optimalizaci [autor]

Technicko-ekonomické hodnocení investičních variant - výběr variant pro optimalizaci								
Označení varianty	Přidaná tepelná izolace			Investice	Vytápění objektu		Při dis. sazbě 1%	
	SO1-3	STR1	OZ (DB)	IN	Náklady	Úspora	NPV	IRR
	mm; $\lambda$	mm; $\lambda$	U [W/m <sup>2</sup> K]	CZK	CZK/rok	CZK/rok	CZK	%
1	100; 0,032	200; 0,038	1,20	445 284,46	4 673,09	19 826,95	66 403,61	2,15
55	Greywall		0,89	466 983,63	4 267,38	20 232,65	55 174,67	1,88
109	120; 0,037	200; 0,038	1,20	445 722,18	4 602,87	19 897,16	67 778,03	2,16
163	EPS 70 F		0,89	467 421,35	4 198,22	20 301,81	56 521,86	1,89

#### 8.4.2 Optimalizace akceptovatelných investičních variant

##### Stanovení skutečně dosažitelných nákladů

Stanovení a optimalizace skutečně vynakládaných nákladů vychází z předpokladu rozdílnosti cen směrných a cen tržních. Výchozím bodem pro kalkulaci skutečných nákladů je určení tržních nákladů na materiály (izolant, ostatní náklady uvažované v kalkulaci).

Pořizovací náklady na materiál uváděné v databázi společnosti ÚRS Praha, a. s. vychází z oficiálních ceníkových cen výrobců materiálů a nezřídka se od tržních cen liší. Kalkulace tržních cen materiálů je uvedena v tabulce 69, ze které je zřejmý rozdíl v nákladech na materiál (zvýrazněny jsou pořizovací náklady na materiál aktuální pro podzim 2014).

Dalšími materiály, které je možné kalkulovat, jsou materiály obsažené v rozboru položky třídníku TSKP 622 211 021 „Montáž zateplení vnějších stěn z polystyrénových desek tl. do 120 mm“, která reprezentuje náklady na technologii všech optimalizovaných variant. Jedná se o náklady na lepicí a stěrkovací hmotu, kotvící prvky a sklovláknitou tkaninu. Optimalizace nákladů je provedena obdobně jako u nákladů na izolant.

**Tab. 11** Srovnání nákladů (směrných cen a cen tržních) na hlavní izolační materiál (izolant) [autor, pozn. 12]

Fasádní izolační desky na bázi expandovaného polystyrenu (srovnání pořizovací ceny v CZK/m <sup>2</sup> )													
	$\lambda$ / mm	100		120		140		160		180		200	
ISOVER ORSIK	0,038	<b>66<sup>5</sup></b>	155	<b>80</b>	186	<b>93</b>	217	<b>106</b>	247	<b>120</b>	277	<b>133</b>	306
Fasádní izolační desky na bázi expandovaného polystyrenu (srovnání pořizovací ceny v CZK/m <sup>2</sup> )													
EPS 70 F	0,037	<b>97,5</b>	217	<b>126</b>	260	<b>137</b>	303	<b>156</b>	347	<b>176</b>	390	<b>195</b>	433
EPS Greywall	0,032	<b>117</b>	256	<b>151</b>	307	<b>176</b>	358	<b>201</b>	409	<b>226</b>	460	<b>251</b>	511

Podrobná kalkulace a rozbor ceny položky ve směrných cenách a kalkulovaných cenách je součástí přílohy číslo 6a disertační práce. Ke kalkulaci dalších nákladů tvořících cenu položky nebylo přikročeno (náklady na mzdy, stroje, režie a zisk), ponechány jsou i náklady na výměnu výplní okenních a dveřních otvorů. Celkové náklady jsou rekapitulovány v tabulce 12.

<sup>5</sup> Uváděné tržní pořizovací náklady na materiál vychází z aktuálních nabídek (říjen 2014) prodejců izolačních materiálů dostupných na stránkách: [www.levnestavebniny.cz/tepelna-izolace/polystyren](http://www.levnestavebniny.cz/tepelna-izolace/polystyren), <http://www.centrum-zatepleni.cz/polystyren>, <http://www.stavbaonline.cz/fasadni-polystyren>. Vzhledem k tomu, že ceny jednotlivých materiálů se mohou měnit, budou tyto dále modelovány.

**Tab. 12** Celkové náklady optimalizovaných investičních variant – tržní ceny) [autor]

Celkové náklady optimalizovaných investičních variant – tržní ceny						
Konstrukce obálky budovy	Materiál izolantu	Tloušťka izolantu	Plocha obálky	Náklady na m. j.	Náklady ostatní	Náklady celkové
	[W/m <sup>2</sup> K]	mm	m <sup>2</sup>	CZK/m <sup>2</sup>	CZK/plocha	CZK
Vnější stěna (SO1-3)	EPS 70F	120	182,01	465,50	12 503,70	97 230,00
	GreyWall	100	182,01	456,50	12 503,70	95 591,00
Strop nad 2. NP (STR1)	ISOVER ORSIK	200	74,40	202,00	-	15 029,00
Výplně otvorů (OZ, DB)	Systém SULKO Classic, deklarovaný $U_w=1,20$ W/m <sup>2</sup> K (dvojsklo)					116 180,00 <sup>6</sup>
	Systém SULKO Optimo+, deklarovaný $U_w=0,89$ W/m <sup>2</sup> K (trojsklo)					134 770,00 <sup>7</sup>

IRR optimalizovaných variant po kalkulaci nákladů dle tržních cen je patrné z tabulky 13.

**Tab. 13** IRR variant s kalkulovanou tržní cenou [autor]

Technicko-ekonomické hodnocení investičních variant - IRR s kalkulovanou tržní cenou, NPV při 1% dis. sazbě								
Označení varianty	Přidaná tepelná izolace			Investice	Vytápění objektu		Při dis. sazbě 1%	
	SO1-3	STR1	OZ (DB)	IN	Náklady	Úspora	NPV	IRR
	mm; $\lambda$	mm; $\lambda$	U [W/m <sup>2</sup> K]	CZK	CZK/rok	CZK/rok	CZK	%
1	100; 0,032	200; 0,038	1,20	299 232,30	4 673,09	19 826,95	212 455,77	5,21
55	Greywall		0,89	320 931,48	4 267,38	20 232,65	201 226,82	4,74
109	120; 0,037	200; 0,038	1,20	301 145,42	4 602,87	19 897,16	212 354,78	5,17
163	EPS 70 F		0,89	322 844,60	4 198,22	20 301,81	201 098,62	4,70

Z výsledků je patrné zvýšení IRR až o 3,06 % u varianty číslo 1. V závislosti na nákladech na izolant se výhodnější jeví varianty kalkulující s deskami EPS Greywall. Diskontovaná doba návratnosti při diskontní sazbě 1 % se zkrátí a u uvedených variant nastává mezi šestnáctým až osmnáctým rokem.

Náklady na materiály nezanedbatelně ovlivňují výsledné modelování a dále zpřesňují vyhodnocení jednotlivých investičních variant. Hypotéza disertační práce je dále potvrzována i pro vyšší požadavek zhodnocení investice.

## 8.5 Simulace akceptovatelných investičních variant

Vzhledem k nejistotě, která je spojena zejména s předpokládanými výchyly investičních nákladů je třeba prověřit platnost závěrů pomocí simulací.

U vybraných investičních variant byly náklady optimalizovány (kapitola 13. 6. 2) při využití kalkulace předpokládaných tržních nákladů. Optimalizovány byly náklady na hlavní materiál (izolant) a náklady na materiály obsažené v příslušné montážní položce odpovídajícího technologického postupu. Lze však předpokládat, že v reálném tržním prostředí dochází k cenovým výkyvům a uvedené kalkulované náklady se mohou měnit.

Pomocí nastavení simulace lze s určitostí pokrýt všechny pravděpodobnostní scénáře a do jisté míry zmíněné odchylky odhadnout.

Pro simulování byly vybrány modelované varianty číslo 1, 55, 109 a 163. Modelována je předpokládaná změna investičních nákladů následovně:

<sup>6</sup> Uvedené náklady vychází z cenové nabídky, která je přílohou číslo 3 disertační práce.

<sup>7</sup> Uvedené náklady vychází z cenové nabídky, která je přílohou číslo 3 disertační práce.

- změna nákladů na hlavní materiál (izolant)  $\pm 15\%$ ,
- změna nákladů na montáž  $\pm 15\%$ ,
- změna nabídkové ceny u výplní okenních a dveřních otvorů,
- změna navazujících nákladů (VRN, DPH).

Předpokládané změny nákladů vychází z odborného odhadu a pokrývají zejména případné množstevní slevy na materiál, navýšení ceny materiálu při ztížených možnostech jeho pořízení, cenové výkyvy, rozdílné kalkulace nepřímých nákladů dodavatelských firem, odchylky mzdových nákladů a podobně. Pro simulaci bylo použito programu CrystallBall, pravděpodobnostního rozdělení beta PERT, nastavení pro 100 000 opakování simulace. Výsledkem simulace je pravděpodobnostní vyjádření celkové výše investičních nákladů a s tím spojené proměnné hodnoty ekonomických parametrů NPV a IRR (rekapitulováno v tabulce 14). Se vzrůstající odchylkou celkových investičních nákladů klesá pravděpodobnost výskytu těchto variant, nicméně v tabulce jsou vypočítány právě ekonomické parametry pro variantu minimálních a maximálních simulovaných investičních nákladů.

Z tabulky 14 je patrná oscilace hodnot ekonomických ukazatelů NPV a IRR pro varianty se simulovanými maximálními a minimálními investičními náklady. Odchylku hodnoty NPV lze predikovat v přibližném intervalu  $\pm 32\,000.00$  CZK, IRR  $\pm 0,90\%$ . Z výsledků je patrná citlivost ukazatelů na celkových investičních nákladech. Pro každou ze simulovaných variant lze hypotézu – při očekávatelných změnách nákladů – potvrdit s vysokou rezervou. Obecně lze říci, že se snižujícími se náklady, roste efektivita investice a naopak.

**Tab. 14** Simulované hodnoty ekonomických parametrů NPV a IRR [autor]

Simulované hodnoty ekonomických parametrů NPV a IRR					
Výsledná hodnota pro variantu		Varianta			
		1	55	109	163
IN (CZK)	Minimální	268 232,91	288 212,59	270 954,59	289 371,28
	<b>Střed (počáteční)</b>	<b>299 232,30</b>	<b>320 931,48</b>	<b>301 145,42</b>	<b>322 844,60</b>
	Maximální	329 117,10	353 274,58	329 599,66	354 828,01
NPV (CZK)	Minimální	243 455,16	233 945,71	242 545,62	234 571,94
	<b>Střed (počáteční)</b>	<b>212 455,77</b>	<b>201 226,82</b>	<b>212 354,78</b>	<b>201 098,62</b>
	Maximální	182 570,97	168 883,72	183 900,55	169 115,22
IRR (%)	Minimální	6,15	5,70	6,11	5,70
	<b>Střed (počáteční)</b>	<b>5,21</b>	<b>4,74</b>	<b>5,17</b>	<b>4,70</b>
	Maximální	4,36	3,93	4,38	3,92

Hlubší simulační úlohy mohou být provedeny například pro celou kalkulaci nákladů, v tomto případě byla simulace omezena pouze na dílčí materiállové náklady, které jsou však pro stanovení celkových investičních nákladů rozhodující. Výsledky simulace nebyly korelovány, předpokládá se však pozitivní závislost nebo nezávislost modelovaných parametrů. Vzhledem k počtu simulací však použití korelace výsledek zásadně neovlivní. Výstupy simulované úlohy jsou zpracovány v příloze 7 disertační práce.

## 8.6 Shrnutí výsledků modelované úlohy

Pro potvrzení / vyvrácení hypotézy byly modelovány všechny potenciální varianty splňující kombinaci veškerých výše definovaných požadavků. Modelová úloha byla záměrně provedena na objektu s nejhoršími parametry tak, aby byly všechny závěry jednoznačné

prokazatelné a každá další optimalizace vedla k vyšší ekonomické efektivitě modelovaných investičních variant.

Z tohoto hlediska byly prověřeny parametry nastavení cenové úrovně (lépe: hladiny), způsoby financování, možné dotační tituly, či změny vytápění a délky životního cyklu. Pro pokrytí možných odchylek byla vytvořena simulační úloha.

Z výsledků jsou pro každou z potencionálních investičních variant patrné ukazatele ekonomické efektivity, které lze podrobně interpretovat.

Pro všechny modelované varianty byla pro nastavená kritéria hypotéza potvrzena. Výsledkem modelování a simulace je nalezení nákladově optimální investiční varianty.

Následujícím, a posledním krokem, je výběr vhodné investiční varianty...

## **9 APLIKACE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ, DISKUSE**

Práce vychází ze současného stavu poznání v oblastech modelování a simulace, tepelné ochrany budov a energetické náročnosti budov, dosažitelných energetických úspor, principů trvale udržitelného rozvoje, technologií využívaných při zlepšování tepelně-technických vlastností budov a izolačních materiálů. Práce taktéž vychází ze standardních způsobů oceňování stavebních dodávek a prací, sestavování nákladů, výpočtů ukazatelů ekonomické efektivnosti a jejich interpretace.

V práci jsou propojeny základní inženýrské dovednosti: projektová činnost a předinvestiční příprava projektu, identifikace možných technických a technologických řešení, jejich ocenění a následné ekonomické vyhodnocení.

Pro potvrzení či vyvrácení hypotézy byly modelovány a simulovány potenciální investiční varianty zlepšující tepelně-technické vlastnosti reprezentanta. Pro modelování byl vybrán objekt samostatně stojícího rodinného domu vystavěného v polovině 20. století. Výběr byl cílený, přihlédnuto bylo k nejnevhodnějším parametrům (kompletně ochlazovaná obálka budovy, původnost konstrukcí, celkově nevyhovující tepelně-technické ukazatele).

Výchozím bodem modelování při stanovení nákladů byly směrné ceny dle databáze společnosti ÚRS Praha, a. s., které využívají ceníkové ceny výrobců materiálů, které jsou však zpravidla vyšší, než ceny tržně dosažitelné. Uvažovaným palivem byla dřevní hmota, vzhledem k očekávaným nižším úsporám na vytápění ve srovnání s dalšími palivy.

Výsledkem modelování je vyhodnocení investičních variant na základě kombinace požadovaných kritérií.

Vzhledem k tomu, že je modelován jen jeden objekt, nebyly obdobně stanoveny náklady pro všechny v práci uvedené technologické postupy a izolační materiály. Jejich stanovování by však probíhalo obdobně.

Výsledky práce mohou být aplikovány opakovaně na různé objekty. Výpočet nulové varianty je vždy shodný, výběr potenciálních investičních variant a jejich modelování taktéž.

Předmětem dalšího rozvíjení problematiky může být propojení popsané metodiky s některým existujícím softwarem a jeho doplnění o ekonomickou nástavbu. Nebo vytvoření samostatné ucelené aplikace schopné po zadání určujících parametrů a požadavků modelovat a identifikovat nejvýhodnější varianty. Základem pro tuto aplikaci je však potvrzení hypotézy a v práci zpracovaná modelová úloha pomocí tabulkového procesoru MS Excell, která představuje mezikrok mentálního modelu a samostatně pracujícího výpočetního softwaru. Obdobně může být přikročeno i k modelování a simulaci obtížně predikovatelných makroekonomických parametrů, k nimž patří například inflace. Model může umožňovat, mimo jiné, i nastavení cen paliv a jejich očekávané změny. Modelová úloha uvedená v této práci tyto

ukazatele pomíjí a to v důsledku jejich spíše pozitivního vlivu na další potvrzování hypotézy (například při – z dlouhodobého hlediska – očekávaném zvyšování cen za energie).

V dalších úlohách mohou být modelovány vlastnosti objektů mladších, splňujících tepelně-technické požadavky alespoň částečně. Nacházet lze také řešení minimalistická, a to taková, která pouze dostojí požadavkům, ovšem bez prokázání nákladové efektivity. Tyto metody mohou být navázány na vývoj požadavků technických norem pro součinitel prostupu tepla  $U$  (tabulka 1a).

Za předpokladu, že posuzovaná budova splňuje požadavek vztahující se k přibližnému datu její realizace, lze dle postupu uvedeném v [53] najít takové řešení zlepšení tepelně-technických vlastností jednotlivých částí obálky budovy, která pokryjí rozdíl mezi hodnotami současně požadovaného (doporučeného) součinitele prostupu tepla  $U$  a hodnotami požadovanými v době realizace objektu. Uvedenému rozdílu dále odpovídá minimální tloušťka izolantu a navazující technologické postupy, které je možné ocenit. Omezení platnosti hypotézy pro budovy realizované přibližně do roku 1992 vychází jednak z životnosti konstrukcí, která je minimálně 25 let, to znamená, že u budov mladších se celkové rekonstrukce obálky podléhající posuzování neuvažují, jelikož jsou vzhledem k nedovršení doby životnosti neopodstatněné. A dále z poměrně radikálního přehodnocení tepelně-technických požadavků souvisejících s (v době 90-tých let) rozvojem nových technologií a větší dostupností stavebních materiálů.

Vzhledem k modelově dosaženým výsledkům, lze předpokládat, že nákladově optimální řešení zlepšování tepelně-technických vlastností budov mladších bude odpovídat variantám jen nepatrně splňujícím současné požadavky.

Praktickým přínosem práce může být aplikace výsledků v projekční činnosti, při provádění výpočtů energetické náročnosti budov a při hledání optimální investiční varianty. Praktické využití najde práce také při investičním rozhodování jako pomůcka k přijetí nákladově optimální varianty projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti objektů na základě podložitelných výpočtů a nikoli podle domněnek, či empirie architektů, projektantů nebo investorů.

Výzkumným a vědeckým přínosem práce je ucelené shrnutí problematiky týkající se projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti objektů a návrh a vytvoření podrobné metodiky a funkční modelové úlohy schopné nalézt nákladově optimální investiční variantu.

## 10 ZÁVĚRY

### 10.1 Dosažení cíle práce, potvrzení / vyvrácení hypotézy

Cílem disertační práce bylo zpracování, modelování a simulace jednotlivých investičních variant souvisejících se zlepšováním tepelně-technických vlastností budov a nalezení – v ideálním případě – varianty nákladově optimální.

Hlavním výstupem práce je popsání ucelené metodiky (modelová a simulační úloha) využitelná pro definování všech potenciálních investičních variant projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti objektu. Výsledkem modelování je vyhodnocení investičních variant na základě kombinace požadovaných kritérií.

Z předkládaných výsledků je patrné, že cíle práce byly naplněny.

**Hypotéza práce byla na základě zpracované modelové úlohy a simulace potvrzena.**

Pro potvrzení hypotézy byla zpracována modelová úloha zlepšování tepelně-technických vlastností budovy. Model byl otestován na samostatně stojícím objektu pro individuální bydlení. Prvotní potvrzení hypotézy proběhlo na základě kombinace nejnevhodnějších

parametrů, které byly následně optimalizovány, a dále hypotézu práce potvrzovaly. Základním požadavkem bylo zhodnocení přijaté investiční varianty diskontovanými finančními toky minimálně ve výši 1 %.

Hypotéza byla potvrzena:

- u všech základních investičních variant (při financování vlastními zdroji),
- u všech nákladově optimalizovaných investičních variant (při financování vlastními zdroji i při financování zdroji cizími),
- u všech nákladově optimalizovaných investičních variant při využití dotačních titulů,
- u všech alternativ použitého paliva,
- u všech simulovaných alternativ při změnách investičních nákladů,
- splněn byl také požadavek diskontované doby návratnosti u všech variant.

Hypotézu naopak nelze potvrdit u objektů, které jsou vyňaty z posuzování energetické náročnosti budov, u budov, které jsou vyňaty z posuzování podle normy ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov a u objektů památkově chráněných.



## 11 POUŽITÁ LITERATURA (DISERTAČNÍ PRÁCE)

- [1] ARLT, J., *Ekonomické časové řady*. Praha: GRADA Publishing, 2007. 288 s. 1. vydání. ISBN 978-80-247-1319-9
- [2] BALÍK, M. a kolektiv, *Odvhlčování staveb*. Praha: GRADA, 2008. 312 s. 1. vydání. ISBN 978-80-247-2693-9
- [3] BENKREIRA, H., KHAN, A., HOROSHENKOV, K.V., *Sustainable acoustic and thermal insulation materials from elastomeric waste residues*. Journal Chemical Engineering Science 66 (2011) p. 4157–4171
- [4] BROŽOVÁ, H., a kol. *Modely pro vícekritériální rozhodování*. Praha: CREDIT, 2003. 178 s. ISBN 80-213-1019-7
- [5] CROSBIE, T., BAKER, K., *Energy-efficiency interventions in housing: learning from the inhabitants*, Building Research & Information, 38:1, 70-79 2010
- [6] ČERMÁKOVÁ, B., MUŽÍKOVÁ, R., *Ozeleněné střechy*. Praha: GRADA, 2009. 248 s. 1. vydání. ISBN 978-80-247-1802-6
- [7] DLOUHÝ, M., a kol. *Simulace pro ekonomy*. Praha: OECONOMICA, 2005. 152 s. 1. vydání. ISBN 80-245-0973-3
- [8] DODOO, A., GUSTAVSSON, L., SATHRE, R., *Building energy-efficiency standards in a life cycle primary energy perspective*. Journal Energy and Buildings 43 (2011) p. 1589–1597
- [9] DOSTÁL, P., *Pokročilé metody analýz a modelování*. Brno: CERM, 2006. 64 s. 1. vydání. ISBN 80-214-3324-8
- [10] DROZDEN, F., *Cena – hodnota – model*. Praha: OECONOMICA, 2003. 128 s. 1. vydání. ISBN 80-245-0501-0
- [11] FAJKOŠ, A., *Ploché střechy*. Brno: Akademické nakladatelství CERM 2002. 80 s. 1. vydání. ISBN 80-7204-247-5
- [12] GIESELER, U. D. J., HEIDT, F. D., BIER, W., *Evaluation of the cost efficiency of an energy efficient building*, Renewable energy 29 (2004) page 369-376.
- [13] HANÁK, T., RADUJKOVIČ, M., VUKOMANOVIČ, M., *Economic evaluation of energy- saving measures on panel buildings in the Czech Republic*. Tehničky vjestnik – Technical gazette, 2013, roč. 20, č. 3, s. 497-504. ISSN: 1330- 3651.
- [14] HUNT, A., GREENSTONE, M., *Is There an Energy Efficiency Gap?* Journal of Economic Perspectives, 26(1): 3-28.
- [15] CHALOUPKA, K., SVOBODA, Z., *Ploché střechy, praktický průvodce*. Praha: GRADA, 2009. 268 s. 1. vydání. ISBN 987-80-247-2916-9
- [16] CHYBÍK, J., *Přírodní stavební materiály*. Praha: GRADA, 2009. 272 s. 1. vydání. ISBN 978-80-247-2532-1
- [17] KORYTÁROVÁ, J., *Celoživotní náklady budov*. Recenzovaný časopis Stavební obzor číslo 7/2010 s. 219-221. Praha: FS ČVUT, FS VŠB TU Ostrava, FS VUT v Brně, ČKAIT 2010, ISSN 1210-4027.
- [18] KORATÁROVÁ, J., *Ekonomika investic*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 170 s. Studijní opora pro studijní programy s kombinovanou formou studia.
- [19] KORYTÁROVÁ J., HROMÁDKA V., MARKOVÁ L., *Náklady životního cyklu budov*. Brno: CERM, 2006. Příspěvek na konferenci Lidé, stavby, příroda 2006 ISBN 80-214-3189-X
- [20] KOVACEVIC, I., SUMMER, M., ACHAMMER, C., *Life-cycle Oriented Renovation Strategies for Social Housing Stock*, Organization, technology and management in construction · a ninternational journal · 5(2)201, ISSN 1847-6228 (Online)
- [21] KUŽELA, M., *Stropy*. Brno: ERA Group, 2005. 130 s. 2. vydání. ISBN 80-7366-014-8
- [22] LANK, J., HLAVÁČEK, P., *Rekonstrukce fasád*. Brno: ERA Group, 2006. 94 s. 1. vydání. ISBN 80-7366-072-5
- [23] LEDENER, H., *Vom Altbau zum Niedrigenergiehaus*. Staufen bei Freiburg: Ökobuch Verlag GmbH, 1997. 216 s. ISBN 3-922964-64-8
- [24] MALPAS, R., *Global forces towards greater energy efficiency*, Project Appraisal, 4:1, 9-16 1989

- [25] MAŇAS, M., *Optimalizační modely pro ekonomické rozhodování*. Praha: Vysoká škola ekonomická, 1993. 102 s. 1. vydání. ISBN 80-7079-915-3
- [26] MILDEOVÁ, S., VOJTKO, V., *Manažerské simulace dynamických procesů*. Praha: OECONOMICA, 2006. 106 s. 1. vydání. ISBN 80-245-1055-3
- [27] MWASHA, A., WILLIAMS, R. G., IWARO, J., *Modeling the performance of residential building envelope: The role of sustainable energy performance indicators*. Journal Energy and Buildings 43 (2011) p. 2108–2117
- [28] MOTYKOVÁ, A., *Okna, správná řešení pro novostavby i rekonstrukce*. Praha: GRADA, 2008. 112 s. 1. vydání. ISBN 978-80-247-2674-8
- [29] NYČ, M., *Sádrokarton*. Praha: GRADA, 2005. 328 s. 1. vydání. ISBN 80-247-0986-4
- [30] PEJCHAL, J., ZLATNÍK, T., *Když chci stavět dům (od pozemku ke kolaudaci)*. Brno: Computer Press, 2007. 88 s. 1. Vydání. ISBN 978-80-251-1482-7
- [31] PUŠKÁR, A., FUČILA, J., SZOMOLÁNYIOVÁ, K., MRLÍK, J., *Okna, dveře, prosklené stěny*. Bratislava: JAGA Group, 2003. 256 s. 1. české vydání. ISBN 80-88905-47-8
- [32] RYAN, E. M., SANQUIST, T. F., *Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions*. Journal Energy and Buildings 47 (2012) p. 375–382
- [33] ŘEHÁNEK, J., *Tepelně-technické a energetické vlastnosti budov*. Praha: GRADA, 2002. 248 s. ISBN 80-7169-582-3
- [34] SADINENI S. B., MADALA, S., BOEHM R. F., *Passive building energy savings: A review of building envelope components*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, Vol.15(8), pp.3617-3631
- [35] SOLAŘ, J., *Poruchy a rekonstrukce zděných staveb*. Praha: GRADA, 2008. 192 s. 1. vydání. ISBN 978-80-247-2672-4
- [36] SOZER, H., *Improving energy efficiency through the design of the building envelope*. Journal Building and Environment 45 (2010) 2581e2593
- [37] SU, B., *The impact of passive design factors on house energy efficiency*, Architectural Science Review, 54:4, 270-276 2011
- [38] SRDEČNÝ, K., MACHOLDA, F., *Úspory energie v domě*. Praha: GRADA, 2004. 112 s. 1. vydání. ISBN 80-247-0523-0
- [39] SRDEČNÝ, K., *Energeticky soběstačný dům, realita či fikce?* Brno: ERA Group, 2007. 94 s. 2. vydání. ISBN 978-80-7366-103-8
- [40] STEINER, I., *Podlahy*. Praha: GRADA, 2008. 136 s. 1. vydání. ISBN 80-247-1242-3
- [41] ŠÁLA, J., KEIM, L., SVOBODA, Z., TYWONIAK, J., *Tepelná ochrana budov, komentář k ČSN 73 0540*. Praha: ČKAIT 2008. 292 S. ISBN 978-80-87093-30-6
- [42] ŠEVCŮ, O., ŠTUMPA, B., *100 osvědčených stavebních detailů*. Praha: GRADA, 2010. 216 s. 1. vydání. ISBN 978-80-247-3114-8
- [43] ŠUBRT, R. a kolektiv, *Tepelné mosty pro nízkoenergetické a pasivní domy*. Praha: GRADA, 2011. 224 s. 1. vydání. ISBN 987-80-247-4059-1
- [44] ŠUBRT, R., ZVÁNOVCOVÁ, P., ŠKOPEK, M., *Katalog tepelných mostů, 1 – běžné detaily*. České Budějovice: Energy consulting, 2008. 232 s. 1. Vydání. ISBN 978-80-254-2715-6
- [45] TICHÁ, A., KORYTÁROVÁ, J., ŠANCOVÁ, L., AIGEL, P., *Životnost funkčních dílů budovy*. Seminář Cena, životnost a ekonomická efektivita stavebního díla, VUT v Brně, Ústav stavební ekonomiky a řízení, 2007.
- [46] TYWONIAK, J. *Nízkoenergetické domy, Principy a příklady*. Praha: GRADA, 2005 (dotisk 2007). 200 s. ISBN 80-247-1101-X
- [47] TYWONIAK, J. *Nízkoenergetické domy 2, Principy a příklady*. Praha: GRADA, 2008. (dotisk 2010) 204 s. ISBN 978-80-247-2061-6
- [48] TYWONIAK, J. *Nízkoenergetické domy 3, Nulové, pasivní a další*. Praha: GRADA, 2012. 204 s. ISBN 978-80-247-3832-1
- [49] TYWONIAK, J. *Stanovení parametrů pro novou generaci energeticky úsporných budov*. Závěrečná zpráva projektu 122 142 0506 MPO EFEKT, Praha: Fakulta stavební ČVUT, 2011
- [50] VAVERKA, J., *Tepelná ochrana budov (Souhrn fyzikálních veličin stavebních materiálů a výpočtů k ČSN 73 0540)*. Brno: VUT v Brně, Fakulta architektury, 1997. 108 s. 1. vydání. ISBN 80-214-0854-X

- [51] VÝSKALA, M., KORYTÁROVÁ, J. *Náklady na zlepšení tepelně technických vlastností budov*. recenzovaný časopis Stavební obzor číslo 9/2010 s. 279 - 282, Praha: FS ČVUT, FS VŠB TU Ostrava, FS VUT v Brně, ČKAIT
- [52] VÝSKALA, M., *Creating Models for Projects Improving the Thermal-Technical Properties of Buildings - Theoretical Basis*. International Scientific Conference People, Buildings and Environment 2012. Brno: VUT v Brně, Fakulta stavební, ISBN 978-80-214-4616-8
- [53] VÝSKALA, M., *Investment costs of the Building Envelope Reconstructions*. International journal of Build Environment, Szent István University, Budapest
- [54] WANG, S., YAN, Ch., XIAO, F., *Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings*. Journal Energy and Buildings 55 (2012) p. 873–888
- [55] ZMEŠKAL, ZDENĚK *Finanční modely*. Praha: EKOPRESS, 2004. 236 s. 1. vydání. ISBN 80-86119-87-4
  
- [56] [www.tepelnymost.cz](http://www.tepelnymost.cz)
- [57] [www.isover.cz](http://www.isover.cz)
- [58] [www.rockwool.cz](http://www.rockwool.cz)
- [59] [www.baumit.cz](http://www.baumit.cz)
- [60] [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)
- [61] [www.dcd-ideal.cz](http://www.dcd-ideal.cz)
- [62] [www.pasivnídomy.cz](http://www.pasivnídomy.cz)
- [63] [www.weber-terranova.cz](http://www.weber-terranova.cz)
- [64] [www.cz.foamglas.com](http://www.cz.foamglas.com)
- [65] [www.konopnaizolace.cz](http://www.konopnaizolace.cz)
- [66] [www.naturwool.cz](http://www.naturwool.cz)
- [67] [www.novazelenausporam.cz](http://www.novazelenausporam.cz)
- [68] [www.czb.cz](http://www.czb.cz)
  
- [69] ČSN 01 3420 *Výkresy pozemních staveb – kreslení výkresů stavební části*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [70] ČSN 73 0540-1, *Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [71] ČSN 73 0540-1, *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [72] ČSN 73 0540-1, *Tepelná ochrana budov – Část 1: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [73] ČSN 73 0540-1, *Tepelná ochrana budov – Část 1: Výpočtové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [74] ČSN EN ISO 10077-1, *Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla – Část 1: Všeobecně*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
- [75] ČSN EN ISO 10077-1, *Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla – Část 2: Výpočtová teplota pro rámy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004
- [76] ČSN EN ISO 10211, *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích– Tepelné toky a povrchové teploty – Podrobné výpočty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [77] ČSN EN ISO 13370, *Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtová metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [78] ČSN EN ISO 13789, *Energetická náročnost budov – Měrná ztráta prostupem tepla*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [79] ČSN EN ISO 13790, *Energetická náročnost budov – Výpočet potřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

- [80] TNI CEN/TR 15615, *Vysvětlení obecných vztahů mezi různými evropskými normami a směrnici o energetické náročnosti budov (EPBD) – Zastřešující dokument*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [81] TNI 73 0329, *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [82] Directive of the European Parliament and of the Council 2010/31/ES Energy Performance of Buildings Directive (EPBD II) (revision).
- [83] EU: Commission delegated regulation of 16. 1. 2012 establishing a comparative methodology framework for calculation cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements.
- [84] Zákon č. 406/2000 Sb. O hospodaření energií, uveřejněno v: č. 115/2000 Sbírky zákonů na straně 5314.
- [85] Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) (Aktualizované znění zákona podle č. 257/2013 Sb. s účinností od 1.1.2014)
- [86] Vyhláška č. 78/2013 Sb. O energetické náročnosti budov, uveřejněno v: č. 36/2013 Sbírky zákonů na straně 738.

## SEZNAM PUBLIKACÍ

### RECENZOVANÉ ČASOPISY

- (1) VÝSKALA, M., KORYTÁROVÁ, J. *Náklady na zlepšení tepelně technických vlastností budov.* recenzovaný časopis Stavební obzor číslo 9/2010 s. 279 - 282, Praha: FS ČVUT, FS VŠB TU Ostrava, FS VUT v Brně, ČKAIT
- (2) VÝSKALA, M., *Investment costs of the Building Envelope Reconstructions.* International journal of Build Environment vol.1/2015, Szent István University, Budapest (příspěvek byl přijat redakční radou, publikován bude v lednu 2015)

### ČLÁNKY VE SBORNÍCÍCH NÁRODNÍCH A MEZINÁRODNÍCH KONFERENCÍ

- (3) VÝSKALA, M., *Porovnání cen pasivního domu z recyklovaných a klasických materiálů.* Mezinárodní konference doktorského studia JUNIORSTAV 2008, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno 2008, ISBN 978-80-86433-45-5
- (4) GARKUSHEVA, A., DEVIATKA, V., VÝSKALA, M., *Enterprise, development and innovation in Czech republic.* VII Mezinárodní nauková konference mladých vědců, aspirantů a studentů, Doneck, UA, DonNABA 2009, ISBN UDK 33:658:336
- (5) VÝSKALA, M., *Současné požadavky na tepelnou ochranu budov.* Mezinárodní Baťova konference 2009, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín 2009, ISBN 978-80-7318-812-2
- (6) VÝSKALA, M., *Legislativní vývoj v oblasti tepelné ochrany budov.* Mezinárodní konference doktorského studia JUNIORSTAV 2009, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno 2009, ISBN 978-80-214-3810-1
- (7) VÝSKALA, M., *Možnosti čerpání finančních podpor v oblasti zlepšování tepelně-technických vlastností objektů.* Mezinárodní konference Lidé, stavby, příroda 2009, Brno CERM, ISBN 978-80-7204-660-7
- (8) VÝSKALA, M., *Modelování projektů zlepšujících tepelně-technické vlastnosti budov.* Mezinárodní konference doktorského studia JUNIORSTAV 2010, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno 2010, ISBN 978-80-214-4042-5
- (9) VÝSKALA, M., *Předpoklady pro zlepšování tepelně-technických vlastností objektů.* Miznarodnoj studentskoj naukoj-prakticnoj konferenciji Ekonomični ta socialno-gumanitari problemi sučasnoho suspilctva, Doneckij derzavij universitet upravlinja 2010, UA, VVK 81.2 (angl) + 60.55
- (10) VÝSKALA, M., KORYTÁROVÁ, J., *Decision Making Support of Improving of Thermal Technical Characteristic at Building Construction.* Materiali ich miznarodnoj naukoj konferencij molodich včenich aspirantiv i studentiv, Doneckij derzavij universitet upravlinja 2010, UA, UDK 33:658:336
- (11) VÝSKALA, M., KORYTÁROVÁ, J., *Determination of the Cost of Thermal Insulation Structures According to the Building Envelope.* ISC People, Buildings and Environment 2010, Brno CERM, ISBN 978-80-7204-705-5
- (12) VÝSKALA, M., ŠTĚPÁNOVÁ, M. *Příprava a náklady na projektovou dokumentaci určenou pro stanovení tepelně-technických vlastností objektu.* Mezinárodní Baťova konference 2011, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín 2011, ISBN 978-80-7454-013-4
- (13) VÝSKALA, M., *Volba technologických postupů při provádění konstrukcí zlepšujících tepelně-technické vlastnosti budov.* Mezinárodní konference doktorského studia JUNIORSTAV 2011, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno 2011, ISBN 978-80-214-4232-0
- (14) VÝSKALA, M., *Creating Models for Projects Improving the Thermal-Technical Properties of Buildings - Theoretical Basis.* ISC People, Buildings and Environment 2012, Brno CERM, ISBN 978-80-214-4616-8
- (15) VÝSKALA, M., *Case study modelling the improvement of thermal technical characteristics of buildings.* ISC People, Buildings and Environment 2014, Brno CERM, ISBN (recenzní řízení).
- (16) AIGEL, P.; TUSCHER, M.; VÝSKALA, M., *Appraisalment of ground works in the Czech republic,* příspěvek na konferenci Georeks - VII Congress of students from geotechnological faculties. Ss. Cyril and Methodius University, Faculty of Civil Engineering, Ohrid Makedonie, 2014, ISBN 978-608-4510-16-1

## CURRICULUM VITÆ

ING. MILOSLAV VÝSKALA (\*1982, Olomouc)

### Dosažené vzdělání:

1998 – 2002 Střední průmyslová škola stavební Lipník nad Bečvou, obor Pozemní stavitelství.

2002 – 2007 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, obor Management stavebnictví.

### Současné studium:

2007- Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, obor Management stavebnictví, doktorský studijní program.

### Pracovní a studijní pobyty v zahraničí:

2008 Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore. Podgorica, Černá Hora.

2009 Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore. Podgorica, Černá Hora.

2010 Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore. Podgorica, Černá Hora.

2011 Faculty of civil engineering, "OVIDIUS" University of Constanta, Rumunsko.

### Výzkumná činnost:

2010 Tvorba software pro zpracování modelu projektu zlepšování tepelně-technických vlastností budov. . FAST-J-10-27. 2010 - 2010. Juniorský projekt specifického výzkumu.

### Doplňkové vzdělání:

2006 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Doplnující pedagogické studium k získání učitelské způsobilosti.

### Pracovní zkušenosti:

2007 - Asistent. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavební ekonomiky a řízení.

2007 - Rozpočtování staveb (od roku 2005 realizovány rozpočtové práce více než 350 stavebních objektů v celkovém objemu více než 2,5 miliardy CZK.

#### Referenční objekty:

- 1) Rekonstrukce bývalé vojenské nemocnice Terezín,
- 2) Domov seniorů Plzeň,
- 3) Soubor staveb lidové architektury „ROCHUS“ Uherské Hradiště,
- 4) Rekonstrukce vodovodu a kanalizace Brno, Dolnopolská ulice,
- 5) Soubor devíti bytových domů, Hostivice u Prahy.

2010 - Samostatná projekční činnost v oblasti pozemního stavitelství.

#### Referenční objekty:

- 1) Rekonstrukce a přístavba rodinného domu, Mohelnice,
- 2) Rekonstrukce a přístavba rodinného domu, Hrubá Voda,
- 3) Novostavba bytového domu, Brno – Královo Pole.